

بررسی زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی در گستره‌ی پی‌جویی دهن قلعه، شمال غربی بردسکن

پیام روحبخش^۱، خسرو ابراهیمی^{*}، سید مسعود همام^۱، حسین عباس نیا^۲

۱- دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی

۲- سازمان صنایع و معادن خراسان رضوی

(دریافت مقاله: ۸۸/۱۲/۱۵، نسخه نهایی: ۸۹/۳/۱۲)

چکیده: گستره‌ی پی‌جویی دهن قلعه، در فاصله‌ی حدود ۳۰۰ کیلومتری جنوب غربی مشهد واقع شده و از نظر تقسیم‌بندی، پهنه‌های زمین‌ساختی، بخشی از پهنه‌ی زمین‌ساختی تکنار است. این پهنه به واسطه‌ی گسل تکنار از پهنه‌ی زمین‌ساختی سبزوار در شمال جدا شده است و گسل درونه در جنوب، حد فاصل آن از واحد زمین‌ساختی لوت است. پیش از عملیات صحرایی، پردازش داده‌های استر نشان داد که منطقه مورد بررسی از زون‌های هماتی، کلریتی، اپیدوتی، سرسیتی و سیلیسی دگرسان شکل گرفته است. نتایج حاصل از بررسی‌های دورسنجی پس از بررسی زمین‌شناسی صحرایی و بررسی‌هایی با میکروسکوپ عبوری و بازتابی تایید شدند. زمین‌شناسی عمومی منطقه شامل مجموعه سنگ‌های دگرگون همراه با توده‌های گرانیتوئیدی نیمه عمیق کمی دگرگون شده با بافت پورفیری است که از ماگمایی آهکی-قلیایی فراآلومینیومی تا آلومینیومی وابسته به رژیم زمین‌ساختی زون فرورانش از حاشیه قاره ریشه گرفته‌اند و از منظر پذیرفتاری مغناطیسی از نوع I هستند. نتایج آنالیز ژئوشیمیایی رسوب‌های رودخانه‌ای حاکی از بهنجاری عناصر طلا، نقره، مس، سرب و روی در هاله‌های ثانویه بوده به طوری که بیشترین میزان طلا (۱۲/۳ ppb)، نقره (۹۷ ppb)، مس (۸۷/۲۸ ppm)، سرب (۸۸/۹۴ ppm) و روی (۱۶۰/۳ ppm) است. بر اساس بررسی‌های صحرایی و سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی، دو سیستم کانی‌سازی در منطقه شناسایی شدند: ۱- سیستم وابسته به کانی‌سازی ماسیو سولفید تکنار و ۲- سیستم کانی‌سازی وابسته به توده‌های گرانیتوئیدی که مدل آن "مس پورفیری نوع مونزونیتی" پیشنهاد شدند.

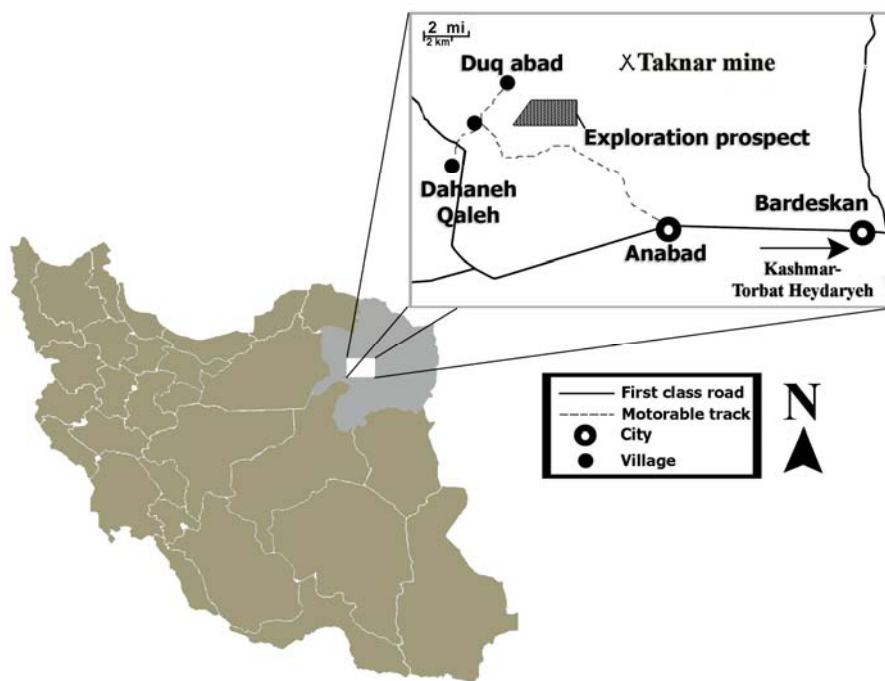
واژه‌های کلیدی: دهن قلعه، زون تکنار، $Au-Cu-Pb-Zn-Ag$ بردسکن.

مقدمه

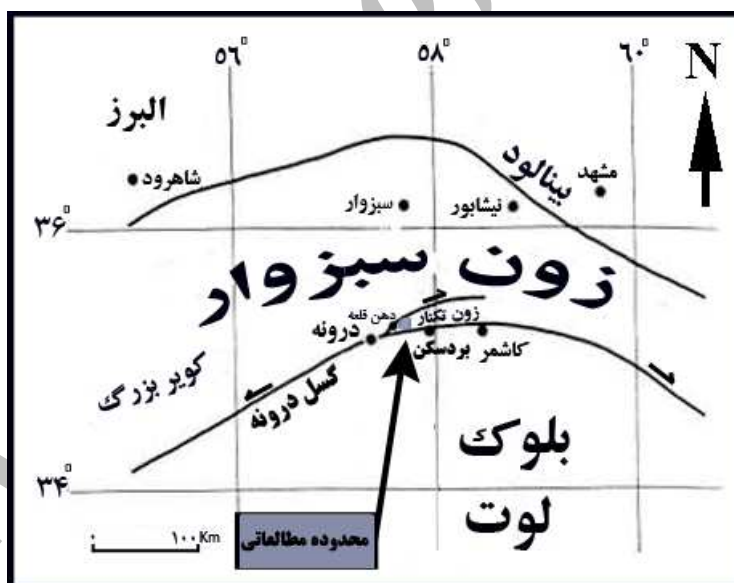
گستره‌ی دهن قلعه از نظر تقسیم‌بندی ایالت‌های ساختاری، بخشی از واحد زمین‌ساختی گوه‌ای شکل تکنار است که به واسطه‌ی گسل تکنار (ریوش) از واحد زمین‌ساختی سبزوار در شمال جدا شده است و گسل درونه (کویر بزرگ) در جنوب، حد فاصل آن از واحد زمین‌ساختی لوت است [۱] (شکل ۲).

گستره‌ی پی‌جویی دهن قلعه (Dahaneh Qaleh) در حدود ۳۰۰ کیلومتری جنوب‌غربی مشهد و ۵۰ کیلومتری شمال‌غربی شهرستان بردسکن و به مختصات "۵۶° ۴۰' ۵۷" تا "۴۵° ۵۷' ۳۷" طول شرقی و "۳۵° ۲۱' ۳۷" عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱).

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۳۱۵۲۷۸۴، شماره: ۰۵۱۱)۸۷۹۷۲۷۵، پست الکترونیکی: khebrahimi@ferdowsi.um.ac.ir



شکل ۱ موقعیت گستره‌ی اکتشافی دهن قلعه.



شکل ۲ موقعیت سه واحد زمین‌ساختاری در منطقه‌ی (تکنار در مرکز، سبزوار در شمال و لوت در جنوب [۱] با تغییرات).

پی‌جویی‌های ژئوشیمی ناحیه‌ای طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۵ از سوی پیمانکار چینی (شرکت جیانگ‌سی) و زیر نظر کارشناسان سازمان زمین‌شناسی کشور، از گرمسار تا تربت حیدریه (گسترده‌ای در حدود ۴۲۰,۰۰۰ کیلومتر مربع) صورت گرفت و نتایج حاصله به صورت ۲۶ ورقه‌ی ۱:۱۰۰,۰۰۰ ژئوشیمی آبراهه‌ای برای ۲۸ عنصر ارائه شد. گزارش شماره‌ی ۷۵۶۰ این پی‌جویی‌های وابسته به گستره‌ی دهن قلعه است

توپوگرافی گستره‌ی دهن قلعه به دو حالت کلی دیده می‌شود: توپوگرافی خشن با دامنه‌های پر شیب و پرتگاهی با ارتفاع بیشینه‌ای در حدود ۱۴۰۰ متر از سطح دریا که در کل منطقه و خصوصاً در غرب گستره‌ی مشاهده می‌شود و توپوگرافی پست که بیشتر شامل نهشته‌های کویری، کواترنری و رسوب‌های عهد حاضر و در منتهی‌الیه غربی گستره‌ی پی‌جویی قرار گرفته است.

زمین‌شناسی منطقه

نمونه‌های سطحی در صحرا با در نظر گرفتن داده‌های ماهواره-ای پردازش شده و پارامترهای مختلفی از جمله تغییرات بافتی، درصد، نوع و اندازه فنوکریست در صورت پورفیری بودن بافت، تغییرات دگرسانی و کانی‌سازی مشاهده شده، برداشت شدند، و نهایتاً ۵۵ مقطع نازک و نازک صیقلی به انضمام ۱۶ بلوک صیقلی تهیه و برای بررسی‌های دقیق‌تر کانی‌شناسی، سنگ-شناسی و وابستگی آن‌ها با کانی‌سازی، مورد بررسی قرار گرفتند. بر این اساس لیتولوژی گستره‌ی پی‌جویی دهن قلعه به سه گروه کلی تفکیک شدند (شکل ۳):

۱- مجموعه سنگ‌های دگرگون ناحیه‌ای شامل کلریت-سرسیت شیبست (شکل ۴)، بیوتیت-سرسیت شیبست و سرسیت شیبست همراه با توده‌های آذرین بازی و حدواسط دگرگون شده در حد متا گابرو - دیوریت و متا دیوریت (شکل ۵) وابسته به سازند تکنار [۴].

۲- توده‌های گرانیتوئیدی (شکل ۵) با بافت پورفیری نیمه عمیق کمی دگرگون شده که در سازند تکنار نفوذ کرده‌اند [۴].

۳- سنگ‌های افیولیتی کرتاسه فوقانی (وابسته به زون سبزوار) که به واسطه‌ی حرکت‌های گسل دهن قلعه، در حاشیه جنوب غربی گستره جای گرفته‌اند.

بر اساس یافته‌های جدید، سن سازند تکنار پرکامبرین تعیین شد [۵] و سن توده‌های گرانیتوئیدی در گستره‌ی دهن قلعه به‌خاطر نفوذ در سازند تکنار و سمت‌گیری سرسیت‌های دگرسان آن که حاصل از رخداد دگرگونی ناحیه‌ای در تریاس است [۶]، اواخر پرکامبرین تا اواخر پالئوزوئیک تعیین می‌شود. ساختار دگرگونی ناحیه‌ای یاد شده با دمای پایین بوده و کلیه واحدهای پالئوزوئیک در زون تکنار را تحت تاثیر قرار داده است. درجه‌ی دگرگونی این واحدها با استفاده از روش تعیین کریستالینیتی ایلیت به‌روش شاخصی، در حد رخساره‌ی پامپلی ئیت-اکتینولیت تا اوایل شیبست‌های سبز تعیین شد [۶]. علاوه بر آن، کلیه واحدها تحت تاثیر دگرسانی متوسط تا شدید نیز قرار گرفته‌اند. سنگ‌شناختی توده‌های گرانیتوئیدی گستره‌ی مورد بررسی به شرح زیرند:

الف: متا هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری که به‌صورت گسترده در غرب گستره‌ی، از جنوب به شمال کشیده شده و در کلریت-سرسیت شیبست‌های سازند تکنار نفوذ کرده است (شکل ۶).

[۲]. مهم‌ترین ایراد وارده بر این گزارش، استفاده از روش پربندی در ارائه نقشه‌های یاد شده است. به‌طوری که خاستگاه بی‌هنجاری‌ها به درستی قابل ردیابی نبود و تنها ایده‌ای کلی از پتانسیل فلززایی کمر بند سمنان-خواف در اختیار می‌گذارد. بدین سبب در گستره‌ی دهن قلعه، بررسی‌های دقیق‌تر برای پی‌جویی محلی به‌عنوان بخشی از هدف‌های این پژوهش صورت گرفت.

کریمپور و سعادت نیز در سال ۱۳۸۴ به بررسی پتانسیل-های معدنی و تعیین اولویت‌های پی‌جویی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، دگرسانی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک در گستره‌ی ورقه‌ی بردسکن پرداخته‌اند [۳].

روش بررسی

از آن‌جا که گستره‌ی دهن قلعه در کنار گستره‌ی معدنی ماسیو سولفید چند فلزی تکنار قرار دارد (شکل ۱)، لذا به‌عنوان یک هدف پی‌جویی از سوی سازمان صنایع و معادن خراسان رضوی انتخاب و از سوی نویسندگان این مقاله مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این پژوهش تهیه‌ی نقشه‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی آبراهه‌ای با مقیاس ۱:۲۵،۰۰۰ در گستره‌ی به گسترده‌ی ۱۰ کیلومترمربع و بررسی کانی‌سازی و بررسی سنگ‌شناسی توده‌های نفوذی است. در نهایت تلاش شده است تا نسبت به ارائه یک مدل مناسب برای کانی‌سازی اقدام شود. در راستای این هدف‌های، مراحل بررسی‌های زیر صورت پذیرفت:

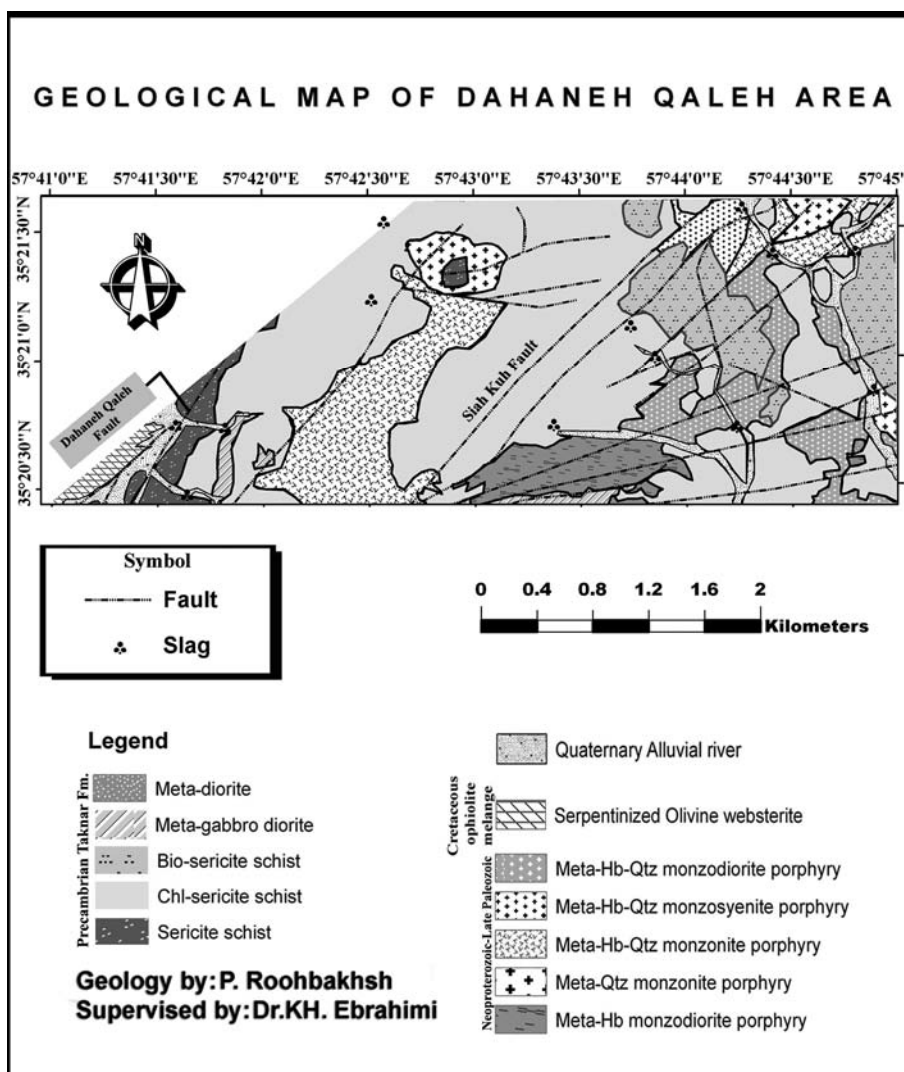
۱- پردازش داده‌های ماهواره استر، برای جدایش لیتولوژیکی و آشنایی با زون‌های دگرسان.

۲- برداشت بیش از ۴۵ نمونه سطحی با در نظر گرفتن داده‌های ماهواره‌ای پردازش شده به‌منظور بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی.

۳- تجزیه ی ۷ نمونه از توده‌های آذرین نفوذی به‌روش XRF به‌منظور بررسی‌های سنگ‌شناسی.

۴- اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی توده‌های گرانیتوئیدی موجود در گستره با استفاده از پذیرفتاری سنجش و مشخص کردن نوع آن‌ها از منظر پذیرفتاری مغناطیسی.

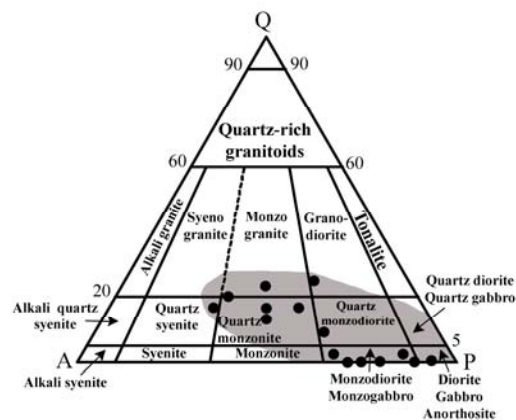
۵- برداشت و تجزیه‌ی ۵۶ نمونه رسوب رودخانه‌ای با در نظر گرفتن اطلاعات سنگ‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و موقعیت سرباره‌های مس در منطقه به‌عنوان راهنمای پی‌جویی.



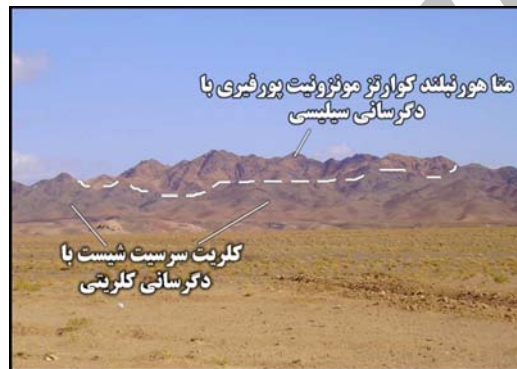
شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی گستره‌ی پی‌جویی دهن قلعه.



شکل ۴ نمایی از کلریت-سرسیت شیست‌های گستره‌ی دهن قلعه.



شکل ۵ نامگذاری توده‌های آذرین گستره‌ی دهن قلعه بر اساس بررسی‌های سنگ‌شناسی [۴].



شکل ۶ نمایی از توده‌ی متا هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری به سن نئوپروتروزوئیک- پالئوزوئیک فوقانی که در کلریت- سرسیت شیبست سازند تکنار به سن پرکامبرین نفوذ کرده است (دید به سمت شمال شرق).

درصد و هورنبلند به میزان ۳-۵ درصد است. کانی اسفن به صورت فرعی حضور دارد. میزان کانی‌های کدر از ۱ تا ۵ درصد تغییر می‌کند.

ج: متا هورنبلند مونزودیوریت پورفیری که بخش بزرگ این توده در بخش جنوبی این گستره قرار گرفته (شکل ۳). بافت آن پورفیری خوشه‌ای بوده و دارای ۲۰-۲۵ درصد فنوکریست است. دگرسانی غالب این لیتولوژی از نوع سیلیسی + کلریتی + سرسیتی بوده و کانی‌های سنگ مشتمل بر کوارتز به میزان ۱-۰/۵ درصد، پلاژیوکلاز به میزان ۱۵-۲۰ درصد، اسپار قلیایی به میزان ۷-۱۰ درصد است و هورنبلند به میزان ۷-۱۰ درصد است. کانی فرعی اسفن در تعدادی از مقاطع نیز دیده می‌شود.

د: متا کوارتز مونزونیت پورفیری که بیشتر در شمال غربی و شمال شرقی گستره‌ی مورد بررسی رخمون دارد. رخمون دیگری از این واحد در جنوب شرقی گستره و سمت راست مسیل معروف به کال محمد قره، در کنار بخش جنوبی واحد بیوتیت- سرسیت شیبست دیده می‌شود (شکل ۳). بافت اصلی

رخمون دیگری از آن در شمال شرقی گستره و بافت پورفیری در کنار واحد متا کوارتز مونزونیت پورفیری دیده می‌شود (شکل ۳). میزان فنوکریست ۱۵-۲۰ درصد است. دگرسانی غالب این لیتولوژی به شدت سیلیسی بوده و کانی‌های سنگ مشتمل بر کوارتز به میزان ۳-۵ درصد، پلاژیوکلاز به میزان ۱۵-۱۰ درصد، آلکالی اسپار قلیایی به میزان ۱۰-۱۵ درصد و هورنبلند به میزان ۳-۵ درصد، و کانی فرعی آن اسفن است.

ب: متا هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری که در نیمه‌ی شرقی گستره‌ی واقع شده و از جنوب به شمال کشیده شده است (شکل ۳). بافت غالب آن پورفیری بوده ولی بافت‌های پورفیری خوشه‌ای و ریز نگاشتی نیز در تعدادی از مقاطع نازک دیده می‌شوند. میزان فنوکریست ۲۰-۲۵ درصد است. دگرسانی این لیتولوژی در نقاط مختلف، متفاوت است ولی دگرسانی غالب این لیتولوژی از نوع سیلیسی ± کلریتی ± سرسیتی است. کانی‌های سنگ مشتمل بر کوارتز به میزان ۵-۷ درصد، پلاژیوکلاز به میزان ۱۰-۱۵ درصد، اسپار قلیایی به میزان ۵-۷

شرکت طیف کانساران بینالود برای عناصر اصلی و فرعی تجزیه شدند (جدول ۱).

نظر به این که طی دگرگونی ناحیه‌ای و دگرسانی SiO_2 , MgO , Na_2O , CaO , K_2O ، تحرک و جابه‌جایی مشخص دارند لذا استفاده از نمودارهای TAS برای نامگذاری توده‌های آذرین در گستره‌ی مورد بررسی نتیجه‌ی قابل قبولی در بر نداشت بدین ترتیب از نمودارهای دیگر، برای تعیین خاستگاه ماگما استفاده شد. گرچه دگرسانی باعث تغییرات جزئی در عناصر به اصطلاح غیر متحرک و اکسیدهای اصلی دیگر به کار گرفته شده در این نمودارها نیز می‌شود ولی در نتیجه‌ی کلی تاثیر چندانی نداشت.

با توجه به (شکل‌های ۷ و ۸) گرانیتوئیدهای دهن قلعه در گستره‌ی سری ماگمایی آهکی-قلیایی قرار می‌گیرند [۷، ۸]. این گرانیتوئیدها در گستره‌ی فرا آلومینیوم تا متا آلومینیوم نیز واقع شده‌اند [۹] (شکل ۹). گرانیتوئیدهای این گستره نیز بر اساس میزان عناصر فرعی Y, Nb, Rb با رژیم زمین‌ساختی زون فرورانش حاشیه قاره (VAG) وابسته می‌شود [۱۰] (شکل ۱۰-الف و ب).

آن پورفیری است ولی بافت ریزنگاشتی ناشی از رشد توام کوارتز و فلدسپات نیز در بعضی مقاطع دیده می‌شود. میزان فنوکریست از ۲۵-۱۰ درصد متغیر است. دگرسانی غالب این لیتولوژی از نوع سیلیسی + سرسیتی بوده و کانی‌های سنگ مشتمل بر کوارتز به میزان ۱۰-۳ درصد، پلاژیوکلاز به میزان ۱۵-۵ درصد و اسپار قلیایی به میزان ۱۵-۵ درصد است.

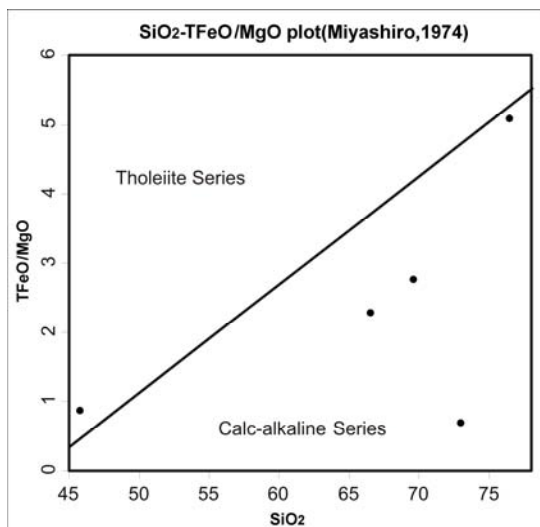
ه: متا هورنبلند کوارتز مونوزوسینیت پورفیری که در شمال این گستره‌ی مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۳). بافت اصلی آن پورفیری است و بافت ریز نگاشتی بافت فرعی این سنگ‌ها محسوب می‌شود. میزان فنوکریست ۲۰-۱۵ درصد است. دگرسانی غالب این لیتولوژی از نوع سیلیسی + کلریتی ± سرسیتی بوده و کانی‌های سنگ مشتمل بر کوارتز به میزان ۱۰-۷ درصد، پلاژیوکلاز به میزان ۷-۵ درصد، اسپار قلیایی به میزان ۱۵-۱۰ درصد و هورنبلند به میزان ۳-۲ درصد است. کانی‌های کدر به میزان ۲-۱ درصد در زمینه‌ی سنگ حضور دارند.

سنگ‌شناسی

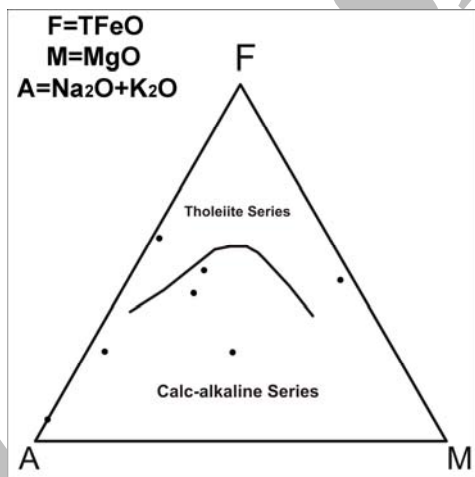
برای بررسی‌های سنگ‌شناسی، ۷ نمونه از توده‌های آذرین نفوذی با کمترین میزان دگرسانی به روش XRF در آزمایشگاه

جدول ۱ نتایج تجزیه توده‌های آذرین نفوذی در گستره‌ی دهن قلعه، FAX14، FAX12، FAX8 و TAX62=متا هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری، FAX2=متا هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری، FAX8 و TAX64=متا کوارتز مونزونیت پورفیری، TAX49=متا هورنبلند مونزودیوریت پورفیری. مقادیر اکسیدهای اصلی بر حسب درصد وزنی و عناصر فرعی بر حسب ppm.

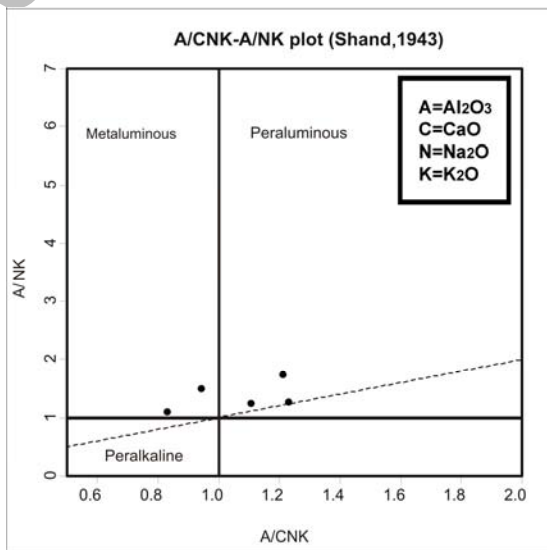
Sample No.	FAX14	FAX2	FAX12	FAX8	TAX64	TAX62	TAX49
SiO ₂	۴۵٫۷۸	۷۶٫۵	۷۲٫۹۶	۶۹٫۵۷	۷۸٫۰۵	۶۹٫۶۱	۶۶٫۵۹
TiO ₂	۰٫۳۴	۰٫۲۵	۰٫۴	۰٫۴۴	۰٫۰۸	۰٫۱۸	۰٫۵۴
Al ₂ O ₃	۱۳٫۴۳	۱۱٫۲۳	۱۰٫۲	۱۰٫۹۲	۱۴٫۱۱	۳٫۷۹	۱۲٫۶۳
TFeO	۱۰٫۸۲	۲٫۶۵	۵٫۲۴	۹٫۴۱	۰٫۴۸	۲٫۲۳	۶٫۲۸
MnO	۰٫۱۹	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۲۱	n.d	۰٫۲۹	۰٫۲
MgO	۱۱٫۲۴	۰٫۴۷	۳٫۳۳	۰٫۲۹	n.d	۰٫۷۳	۲٫۴۹
CaO	۱۵٫۹۲	۰٫۵۵	۱٫۳۴	۱٫۵۹	۰٫۲۴	۱۴٫۱۷	۲٫۶۴
Na ₂ O	۰٫۶۴	۳٫۱۹	۳٫۵۵	۶٫۱۶	۶٫۸۹	۰٫۴۱	۴٫۴۳
K ₂ O	۰٫۰۹	۳٫۵۸	۰٫۱۱	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۱٫۰۵	۱٫۱۶
P ₂ O ₅	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۱۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۹	۰٫۱
L.O.I	۱٫۴۲	۱٫۰۵	۲٫۶۵	۱٫۲۴	n.d	۷٫۳۸	۲٫۸۳
Total	۹۹٫۹	۹۹٫۵۹	۹۹٫۹۵	۹۹٫۹۳	۹۹٫۹۳	۹۹٫۹۳	۹۹٫۸۹
Rb	۶	۱۴۶	۱۰	۷	۹	۵۳	۲۴
Y	۹	۳۲	۱۳	۱۲	۲۲	۲۲	۲۸
Nb	۲	۱۰	۳	n.d	۱۰	n.d	n.d



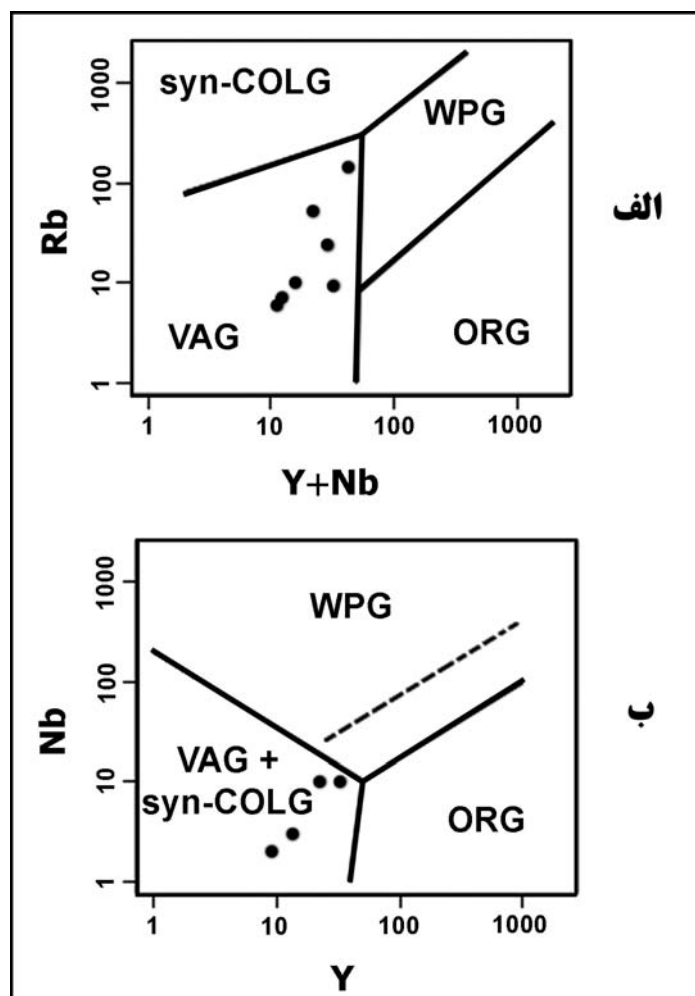
شکل ۷ تعیین سری ماگمایی گرانیتوئیدهای گستره‌ی دهن قلعه بر اساس [۷].



شکل ۸ تعیین سری ماگمایی گرانیتوئیدهای گستره‌ی دهن قلعه بر اساس [۸].



شکل ۹ قرارگیری گرانیتوئیدهای گستره‌ی دهن قلعه در رده‌ی فرا آلومینیوم تا متا آلومینیوم بر اساس [۹].



شکل ۱۰. نمایش موقعیت زمین‌ساختی گرانیتوئیدهای گستره‌ی دهن قلعه بر اساس [۱۰].

دگرسانی

بر اساس تصاویر ماهواره‌ای پردازش شده و ادغام آن با بررسی‌های صحرایی و سنگ‌شناسی نقشه‌ی دگرسانی گستره‌ی پی-جویی دهن قلعه با مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰ تهیه شد (شکل ۱۱). چنانکه در (شکل ۱۱) دیده می‌شود، جز زون‌های سیلیسی دگرسان و زون اکسید آهن ثانوی که ساختار خطی دارد و از روند گسل‌ها پیروی می‌کنند، زون‌های دگرسان دیگر تحت تاثیر مستقیم محلول‌های ماگمایی و گرمایی تشکیل شده‌اند.

شاخصی زون سیلیسی در سنگ‌های گستره مورد بررسی، رگچه‌های کوارتز ثانوی و زمینه‌ی به شدت سیلیسی واحدهای سنگی است (شکل ۱۲- الف و ب). زون پروپلیتیک دگرسان شدید، تنها در جنوب غربی گستره‌ی پی جویی دیده شده و توده‌ی متا گابرو-دیوریت وابسته است و با تبدیل هورنبلند به کلریت و پلاژیوکلاز به اپیدوت شناسایی می‌شود (شکل ۱۲- پ

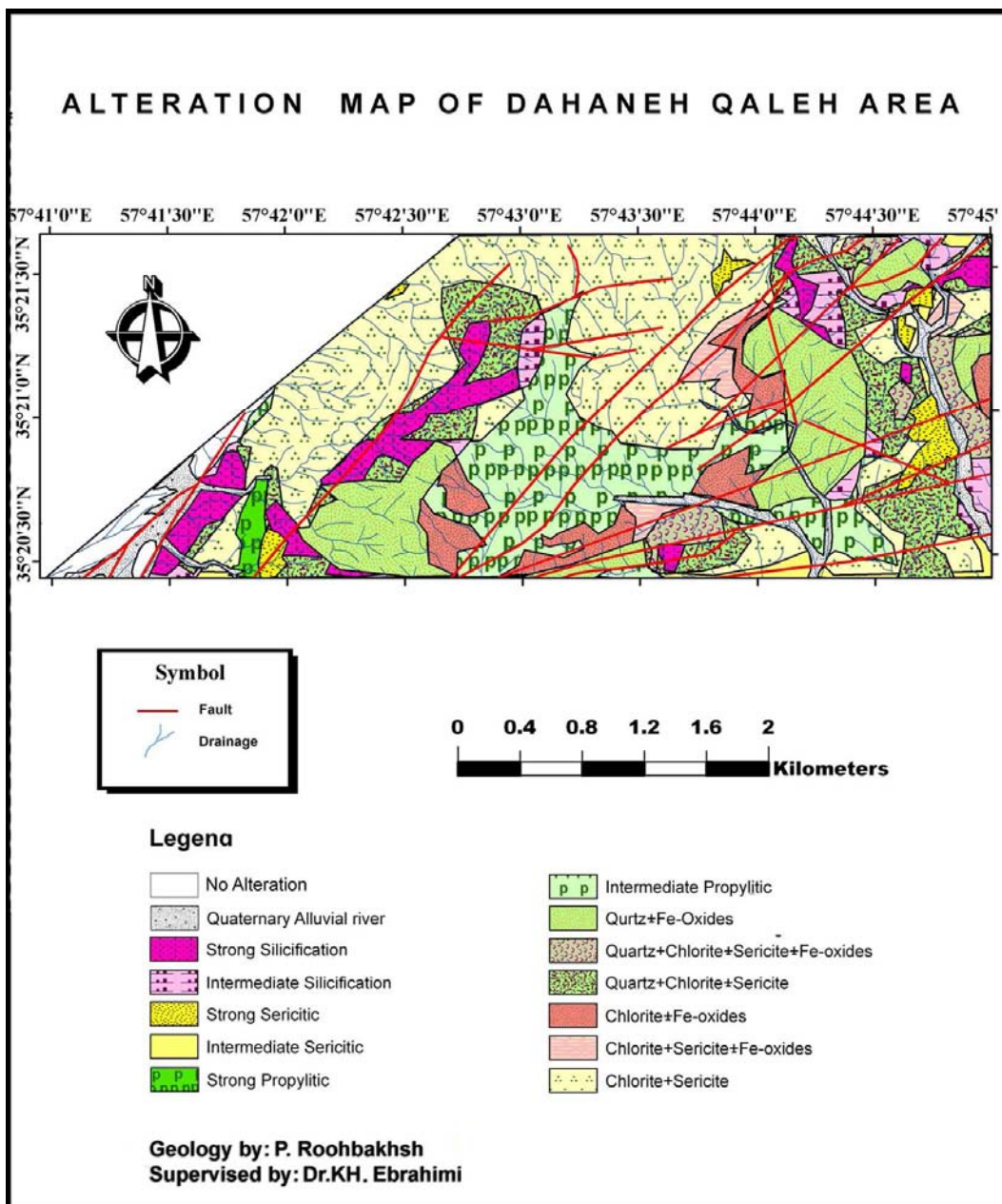
ت و ث). زون‌های آلتزه سرسیتی دگرسان، بیشتر در نواحی جنوب غربی، شرق و شمال شرقی رخنمون داشته و با تبدیل فلدسپات‌ها از مرکز و حاشیه به سرسیت و یا زمینه‌ی سرسیتی واحدهای سنگی قابل تشخیص است (شکل ۱۲- ج). در زون پروپلیتیک متوسط بیشتر، کلریت‌های دگرسان در کنار قالب‌های پیریت حضور داشته و این زون در بخش‌های مرکزی گستره‌ی دهن قلعه واقع شده است (شکل ۱۲- چ و ح). زون‌های دگرسان دیگر در واقع زیر زون‌هایی از زون‌های اصلی یاد شده قرار دارند.

کانی سازی

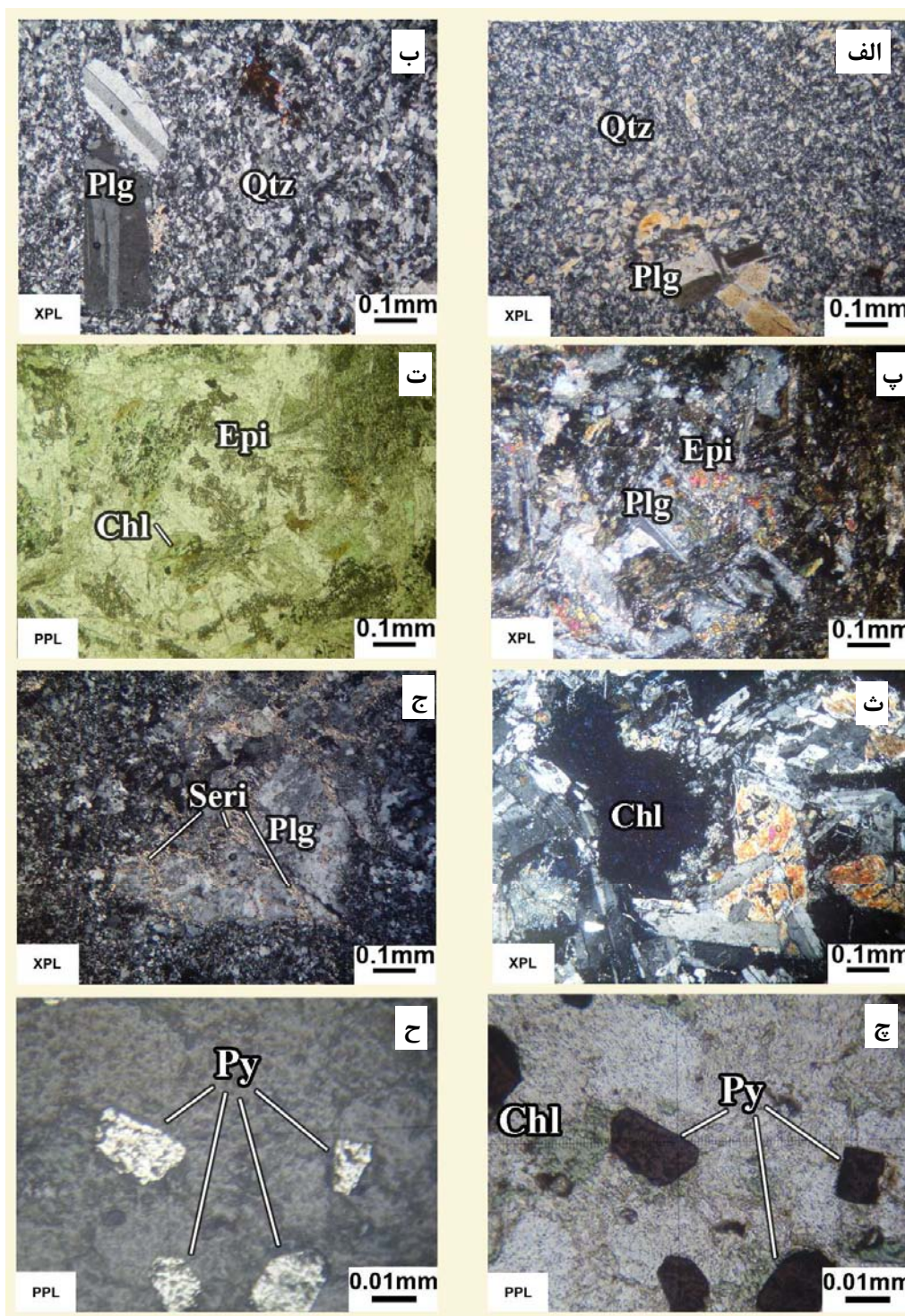
بر اساس بررسی‌های صحرایی و بررسی‌های سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی انجام گرفته، مراحل کانه‌زایی و پاراژنز کافه‌ای در گستره‌ی دهن قلعه بررسی شدند (شکل ۱۳) که بر این مبنا دو سیستم کانی‌سازی در منطقه شناسایی شدند:

گوتیت و هماتیت تبدیل شده‌اند (شکل ۱۶). به دلیل عدم حضور کانی‌سازی لایه‌ای، توده‌ای و داربستی در رخنمون‌های سازند تکنار در این گستره و با توجه به دگرسانی‌های موجود، موقعیت آن در حاشیه‌ی سیستم کانی‌سازی ماسیو سولفید تکنار تعیین شد.

۱- سیستم وابسته به کانی‌سازی ماسیو سولفید تکنار که بیشتر به صورت پیریت‌زایی پراکنده (شکل ۱۴) همراه با سرسیت‌ها و کلریت‌های دگرسان (شکل ۱۳) در متن واحدهای شیستی گستره‌ی دهن قلعه است. این پیریت‌ها در بیشتر نقاط تحت تاثیر محلول‌های سطحی به شدت اکسید شده (شکل ۱۵) و به



شکل ۱۱ نقشه‌ی گستره‌ی پی‌جویی دگرسان دهن قلعه.

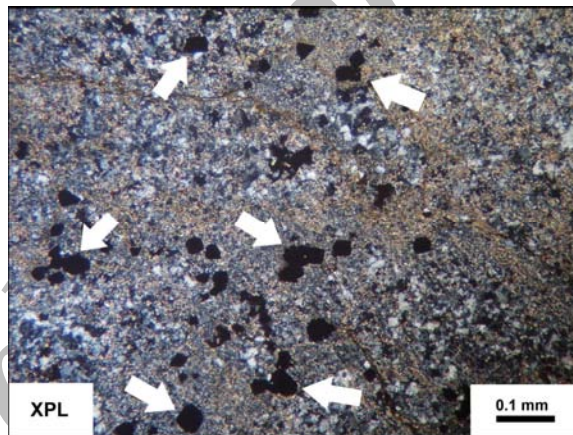


[Py=Pyrite, Chl=Chlorite, Plg=Plagioclase, Qtz=Quartz, Epi=Epidote, Seri=Sericitite]

شکل ۱۲ تصاویر میکروسکوپ نوری عبوری و بازتابی از نمونه‌های برداشت شده از زون‌های دگرسان گستره‌ی پی‌جویی دهن قلعه الف و ب) کوارتز ثانویه محصول دگرسانی سیلیسی، پ و ت) تبدیل هورنبلند به کلریت و پلاژیوکلاز به اپیدوت، ث) کلریت (غنی از آهن) دگرسانی با دوشکستی آبی غیر عادی، ج) دگرسانی سرسیتی در اثر تبدیل فلدسپات‌ها به سرسیت، چ و ح) کلریت‌های دگرسانی در کنار قالب‌های پیریت به ترتیب در نور عبوری و بازتابی.

Mineralization in Dahaneh Qaleh area				
Minerals	disseminated (VMS System)	disseminated (Porphyry System)	Stockwork (Porphyry System)	Oxidized Zone
Pyrite			-----	
Magnetite		-----	■■■■■	
Specularite			■■■■■	
Chlorite			-----	
Sericite	-----			
Quartz			-----	
Carbonate			-----	
Geothite				■■■■■
Hematite				■■■■■
Malachite				-----
Time →				

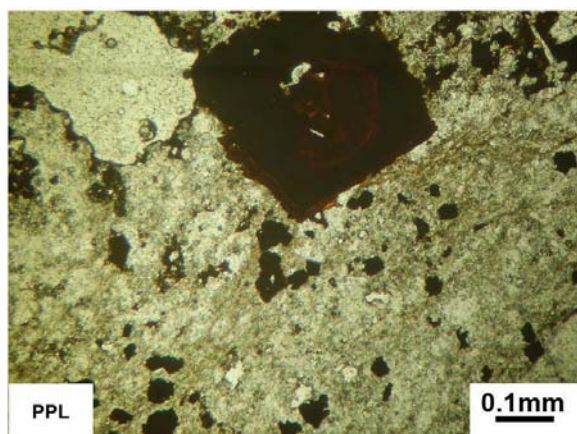
شکل ۱۳. دنباله‌ی پاراژنز گسترده‌ی پی‌جویی دهن قلعه.



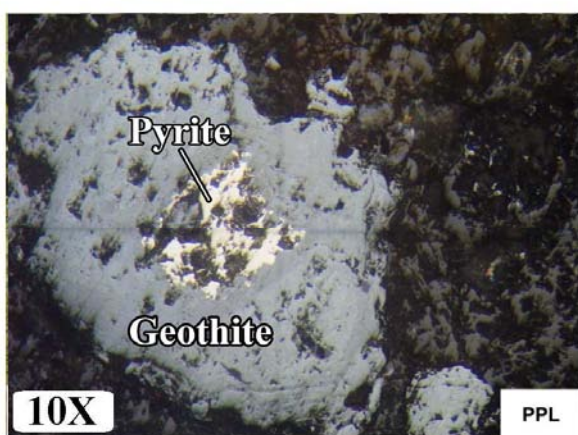
شکل ۱۴. نمایی از پیریت‌های پراکنده در متن سرسپت شیست‌های محدوده دهن قلعه.



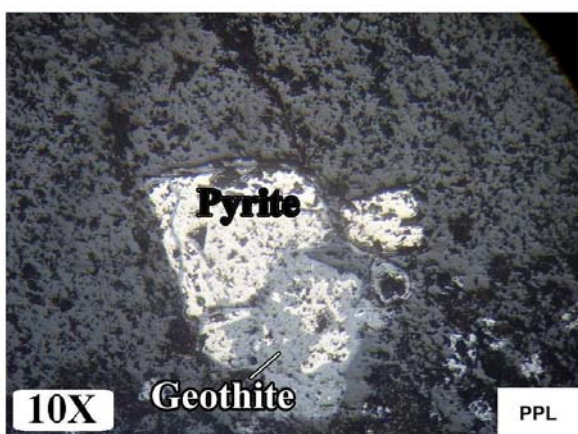
شکل ۱۵. اکسایشی شدن پیریت‌ها و بر جای ماندن قالب آن‌ها.



الف



ب

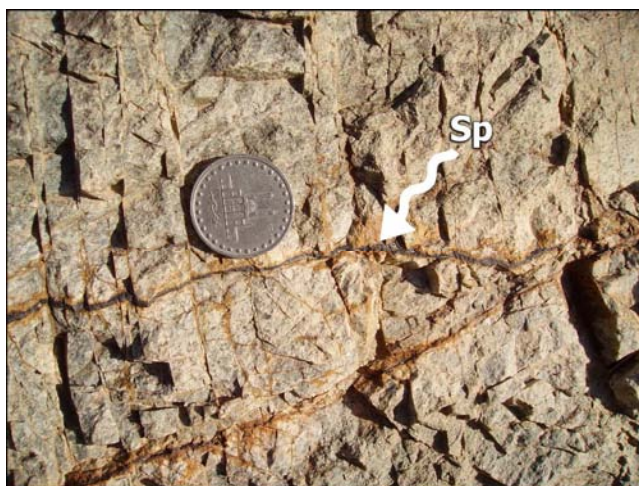


پ

شکل ۱۶ تصاویر میکروسکوپ نور عبوری و بازتابی از تعدادی از نمونه‌های برداشت شده از زون اکسیدهای آهن ثانوی در گستره‌ی پی جویی دهن قلعه (الف) تبدیل پیریت به اکسید آهن ثانوی در مقطع نازک. ب و پ) تبدیل پیریت به گوتیت در بلوک‌های صیقلی نمونه متا هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری.

مگنتیت با بافت پراکنده و رگچه (شکل‌های ۱۷ و ۱۸) و رگه-های (شکل ۱۹) اسپکیولاریت \pm مگنتیت \pm پیریت است (شکل ۱۳).

۲- کانی‌سازی وابسته به توده‌های گرانیتوئیدی که در طول دوران پالئوزوئیک و پس از کانی‌سازی ماسیو سولفید، همراه با فازهای مختلفی از دگرسانی تشکیل شده، و شامل پیریت \pm



شکل ۱۷ رگچه‌های اسپکیولاریت در توده‌های متا هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری.



شکل ۱۸ تصویر میکروسکوپ نور بازتابی از رگچه اسپکیولاریت در بلوک صیقلی.



شکل ۱۹ رگه اسپکیولاریت در توده متا هورنبلند مونزودیوریت پورفیری.

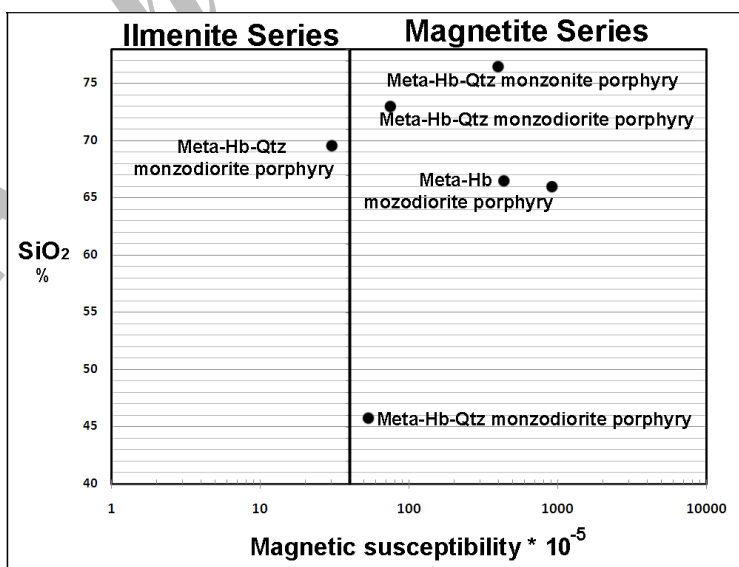
پذیرفتاری مغناطیسی

گرانیت‌ها به دو دسته‌ی مگنتیت و ایلمنیت تقسیم می‌شود [۱۱] مگنتیت با گرانیت‌های نوع I (اکسیدان) و ایلمنیت با گرانیت‌های نوع S (احیایی) همپوشی دارد. پذیرفتاری مغناطیسی مگنتیت بیشتر از $SI \times 10^{-5}$ ۴۰ و ایلمنیت کمتر از این مقدار است [۱۲]. پذیرفتاری مغناطیسی گرانیتوئیدهای گستره‌ی دهن قلعه با استفاده از پذیرفتاری سنج مدل GMS-2 ساخت شرکت FUGRO اندازه‌گیری شد (جدول ۲). پذیرفتاری مغناطیسی بیشتر این توده‌ها از $SI \times 10^{-5}$ ۴۰ بوده و

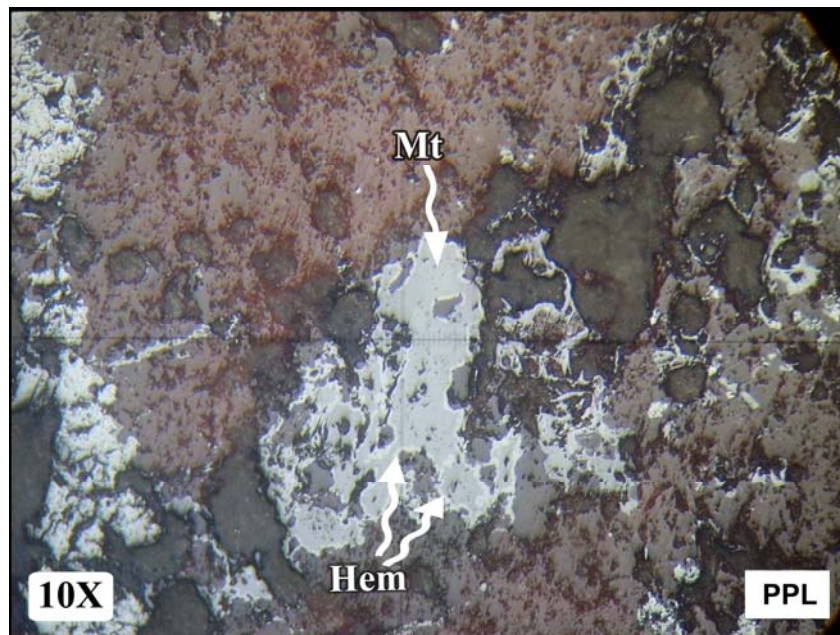
بیشترین آن پذیرفتاری به‌توده‌ی متا هورنبلند مونزودیوریت پورفیری به‌میزان $SI \times 10^{-5}$ ۹۱۳ است (جدول ۲ و شکل ۲۰). از طرفی گرانیت‌های سری مگنتیت حاوی مگنتیت، اسفن و پیریت و معمولاً با کانسار سازی سولفیدی همراه است [۱۲]. این ترکیب کانی‌شناسی یعنی حضور اسفن به‌عنوان کانی فرعی، پراکندگی پیریت و خصوصاً مگنتیت (شکل ۲۱) به‌عنوان عامل افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در توده‌های گرانیتوئیدی گستره‌ی دهن قلعه، دلیل دیگری بر اکسایشی بودن آن‌ها است.

جدول ۲ پذیرفتاری مغناطیسی گرانیتوئیدهای گستره‌ی دهن قلعه.

نام سنگ	پذیرفتاری مغناطیسی ($SI \times 10^{-5}$)
متا هورنبلند مونزودیوریت پورفیری	۴۳۳
متا هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری	۳۰
متا هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری	۷۵
متا هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری	۳۹۴
متا هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری	۵۳
متا هورنبلند مونزودیوریت پورفیری	۹۱۳



شکل ۲۰ موقعیت گرانیتوئیدهای گستره‌ی دهن قلعه بر اساس پذیرفتاری مغناطیسی [۱۱].



شکل ۲۱ تصویر میکروسکوپ نور بازتابی از جانشینی حاشیه‌ای هماتیت به جای مگنتیت (مارتیتی شدن) در نمونه‌ی متا هورنبلند کوارتز مونزودیریت پورفیری.

ژئوشیمی

طلا (Au): با توجه به (شکل ۲۲)، توزیع ژئوشیمیایی عنصر طلا در آبراهه‌های قسمت‌های جنوبی و نیمه شرقی گستره، نشان دهنده‌ی بی‌هنجاری در سنگ‌های بالادست است، در حالی که بیشترین میزان طلا (۱۲٫۳ ppb) مربوط به آبراهه‌ای در شمال غربی گستره وابسته بوده که رسوب‌های آن از توده متا کوارتز مونزونیت پورفیری ریشه گرفته است.

نقره (Ag): توزیع ژئوشیمیایی عنصر نقره (شکل ۲۳)، نشان دهنده‌ی بیشترین میزان بی‌هنجاری در قسمت‌های مرکزی و حاشیه‌ی شرقی گستره است. سنگ‌های بالادست این نقاط را توده‌های متا هورنبلند کوارتز مونزودیریت پورفیری، متا هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری، متا کوارتز مونزودیریت پورفیری و گاهی بیوتیت-سرسیت شیست تشکیل می‌دهد. بیشترین میزان نقره (۹۷ppb) به آبراهه‌ای واقع در شمال شرقی گستره وابسته بوده که از توده‌ی متا هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری سرچشمه گرفته است.

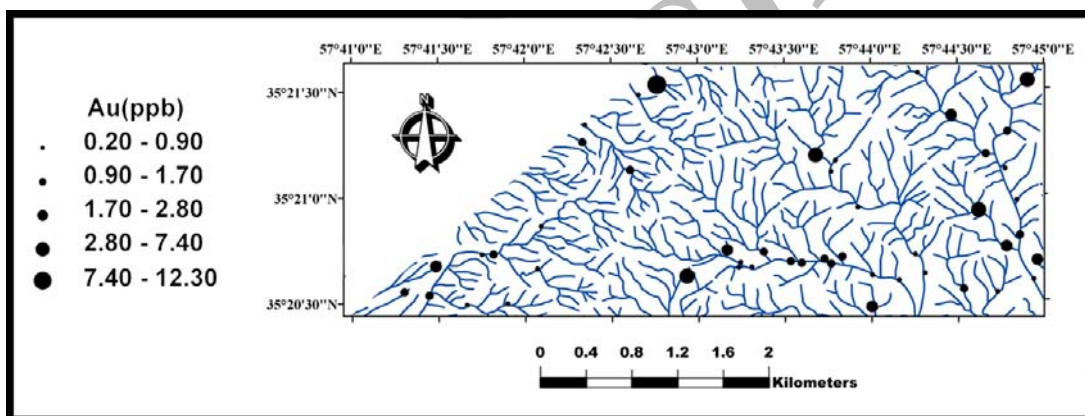
با در نظر گرفتن اطلاعات زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی، موقعیت سربراه‌های مس، تنوع و گستردگی آبراهه‌ها در گستره‌ی، ۵۶ نمونه رسوب رودخانه‌ای برداشت شدند. این نمونه‌ها پس از الک کردن با الک ۸۰ مش و نرمایش (رساندن به اندازه‌ی ۲۰۰ مش)، به آزمایشگاه Acme کانادا ارسال شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه یاد شده به روش محلول‌سازی در ۴ اسید آماده و برای ۵۳ عنصر از جمله طلا، مس، سرب، روی و نقره با دستگاه ICP MS تجزیه شدند (جدول ۳). از آنجا که داده‌های ژئوشیمی آبراهه‌ای ترکیبی از مقادیر عناصر در سنگ‌های بالادست بوده و بیشتر بی‌هنجاری رسوب‌های برداشت شده در گستره‌ی مورد بررسی وابسته به واحدهای گرانیتوئیدی بالادست است و کلیه این واحدها دگرسانند (شکل ۱۱) لذا عملاً محاسبه‌ی زمینه در رسوب‌های رودخانه‌ای امکان‌پذیر نبود، و فراوانی عناصر در سنگ‌های آذرین اسیدی و حدواسط با توجه به [۱۳-۱۵] (جدول ۴) ملاک تعیین زمینه و محاسبه بی-هنجاری قرار گرفت.

جدول ۳ نتایج تجزیه‌ی شیمیایی (ICP MS) نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای برداشت شده از گستره‌ی پی‌جویی دهن قلعه.

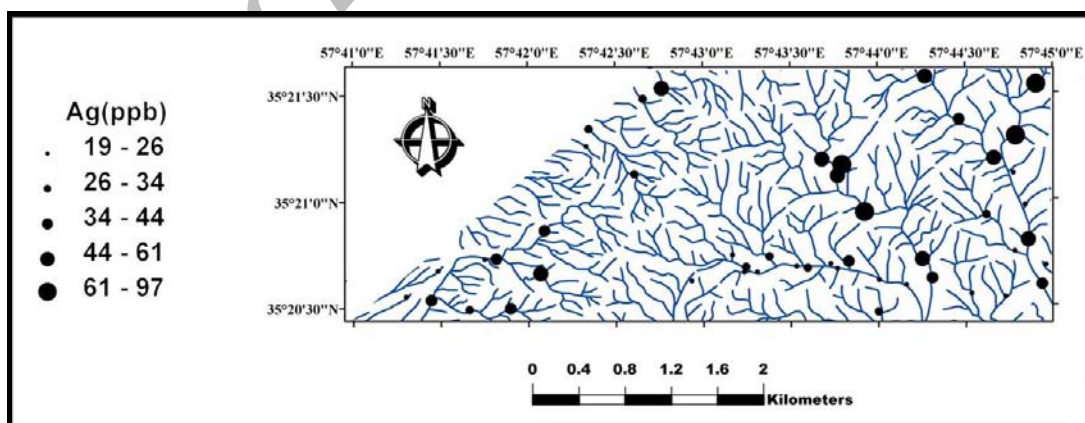
Sample No.	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Ag (ppb)	Au (ppb)
F47	۳۳,۷۴	۱۱,۹۳	۵۹	۲۰	-۰,۸
F48	۳۳,۸۶	۱۱,۳۴	۵۷,۷	۲۳	۴,۷
F49	۳۰,۶۶	۸,۴	۴۶,۱	۱۹	۲,۲
F50	۳۲,۶۵	۱۱,۵۶	۵۳,۲	۲۰	-۰,۶
F51	۳۹,۲	۱۱,۸۴	۵۶,۷	۲۳	۱,۳
F52	۳۴,۷۷	۱۱,۹۶	۵۲,۳	۲۵	۱,۲
F53	۳۴,۵۵	۱۲,۶۴	۵۷,۹	۲۱	-۰,۸
F54	۳۸,۵۱	۱۲,۴۱	۶۵,۳	۳۰	۲,۳
F71	۲۷,۲۸	۱۴,۳۶	۶۱,۱	۲۶	۱,۹
F73	۲۶,۳۶	۱۴,۲۳	۶۰,۱	۲۳	-۰,۵
F74	۲۷,۸۸	۱۵,۸۶	۶۵,۸	۲۴	-۰,۸
F77	۳۰,۷۸	۳۰,۲۱	۷۳,۹	۱۹	۱,۶
F78	۲۷,۵۵	۱۹,۵۷	۶۳,۱	۲۴	۲,۱
F79	۲۹,۴۶	۲۴,۰۸	۷۴,۴	۲۱	-۰,۳
F82	۲۸,۷۵	۲۳,۶۸	۷۰,۸	۲۴	۱,۲
F86	۴۲,۹۵	۴۵,۱۵	۸۱,۴	۵۰	۱۲,۳
D1	۳۱,۴۷	۲۲,۹۶	۷۰,۲	۳۷	۱,۲
D12	۳۲,۵	۱۵,۱۵	۵۷,۹	۳۳	-۰,۷
D13	۳۲,۸۱	۲۶,۴۸	۷۶,۱	۴۰	۱,۱
D14	۳۵,۴۱	۱۳,۵۱	۶۲,۵	۲۴	-۰,۲
D15	۳۶,۶۶	۴۷,۸۴	۱۱۴,۲	۴۰	-۰,۲
D16	۳۶,۳۴	۴۳,۲۳	۱۰۲,۵	۵۰	-۰,۶
D18	۳۳,۱۳	۳۱,۷۵	۷۴,۱	۳۴	-۰,۴
D19	۲۸,۹۱	۱۸,۹۴	۶۰,۶	۳۰	۱,۲
D22	۳۵,۳۴	۳۲,۹۱	۹۳,۶	۳۶	-۰,۵
D23	۳۲,۲۹	۱۷,۹۲	۶۵,۸	۲۹	-۰,۳
D24	۴۲,۳۳	۷۱,۸۴	۱۶۰,۳	۵۴	۵,۱
D25	۳۵,۱۹	۳۱,۶۳	۹۴,۹	۳۷	۱,۸
D26	۳۶,۹۹	۵۰,۵۲	۱۲۱,۵	۴۷	-۰,۶
D27	۵۸,۲۹	۵۴,۱۵	۱۱۹,۶	۷۰	-۰,۶
D28	۴۰,۹۵	۶۲,۸۷	۱۳۹,۵	۵۶	-۰,۶
D29	۳۸,۹۸	۸۸,۹۴	۱۴۸,۲	۹۱	-۰,۷
D30	۳۷,۲۷	۲۲,۲۸	۶۳,۵	۲۸	۱,۱
D31	۲۹,۲۱	۱۳,۹۴	۵۴,۱	۲۴	-۰,۳
D32	۲۳,۴	۲۰,۱۵	۶۶,۱	۲۵	-۰,۵
D33	۳۹,۴۶	۳۹,۲۶	۱۰۶,۲	۴۱	۱
D34	۳۰,۶۸	۱۵,۳۴	۷۱,۵	۲۶	۱,۵
D35	۳۵,۶۳	۱۱,۶	۶۸,۸	۲۵	-۰,۳
D36	۳۳,۰۲	۱۳,۱۹	۷۳,۹	۲۲	-۰,۴
D4	۳۹,۵۲	۲۴	۷۷,۵	۴۴	۱,۴
D41	۳۰,۶۷	۴۲,۳۹	۹۹,۳	۲۶	۲,۸
D42	۲۷,۳۸	۴۲,۷۵	۹۳,۲	۳۴	۷,۴
D43	۴۹,۰۴	۴۹,۷۷	۱۱۴,۹	۶۱	۱,۷
D44	۳۶,۴۸	۱۹,۸۷	۶۴,۷	۳۲	-۰,۸
D47	۳۷,۱۵	۳۳,۵۶	۸۳,۹	۴۳	۱,۴
D48	۳۴,۳۲	۲۶,۵۹	۹۸,۶	۳۴	۱,۲
D5	۳۹,۰۴	۱۷,۳۹	۶۵,۷	۳۰	-۰,۵
D50	۳۸,۳۱	۴۶,۲۵	۱۲۰,۴	۴۸	۱,۳
D54	۳۴,۵۳	۱۹,۵۱	۶۷,۳	۲۲	۱,۳
D6	۲۸,۷۶	۱۶,۷۶	۶۰,۸	۴۶	-۰,۵
D66	۵۱,۴۴	۵۹,۴۶	۱۳۰	۹۷	۴,۲
D68	۸۷,۲۸	۵۱,۶۶	۱۲۴,۴	۸۰	۱,۵
D70	۴۷,۴۵	۵۲,۰۷	۱۲۵,۷	۵۳	۱
D8	۳۲,۱۷	۲۲,۴۳	۶۹,۵	۳۷	-۰,۷
D83	۳۲,۸۱	۲۳,۰۶	۷۶,۵	۳۴	-۰,۹
D9	۲۹,۲۹	۲۰,۰۹	۶۹,۹	۳۶	-۰,۴

جدول ۴ فراوانی عناصر در سنگ‌های آذرین اسیدی و حدواسط [۱۳-۱۵].

عناصر	سنگ های آذرین اسیدی و حدواسط
Cu(ppm)	۱۰-۳۰
Zn(ppm)	۴۰-۶۰
Pb(ppm)	۱۰-۳۰
Au(ppb)	۳
Ag(ppb)	۰/۱-۰/۵



شکل ۲۲ نقشه ژئوشیمی آبراهه‌ای عنصر طلا بر حسب ppb در گستره‌ی پی جویی دهن قلعه.



شکل ۲۳ نقشه ژئوشیمی آبراهه‌ای عنصر نقره بر حسب ppb در گستره‌ی پی جویی دهن قلعه.

شرقی گستره مورد نظر است. سنگ‌های بالادست این نقاط را توده‌های متا هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری، متا هورنبلند

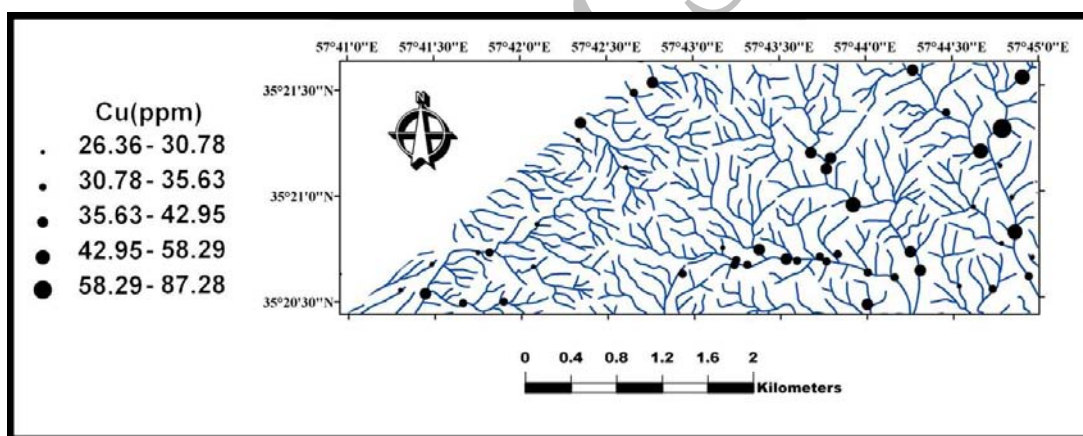
مس (Cu): توزیع ژئوشیمیایی عنصر مس (شکل ۲۴)، نشان دهنده‌ی بیشترین میزان بی‌هنجاری در بخش‌های حاشیه‌ی

سرسیت شیست تشکیل می‌دهند. بیشترین میزان سرب (۸۸/۹۴ppm) و روی (۱۶۰/۳ppm) وابسته به آبراهه‌های مرکز گستره بوده که رسوب‌های آن از توده‌ی متا هورنبلند کوارتز مونزوسینیت پورفیری و بیوتیت- سرسیت شیست ریشه گرفته اند.

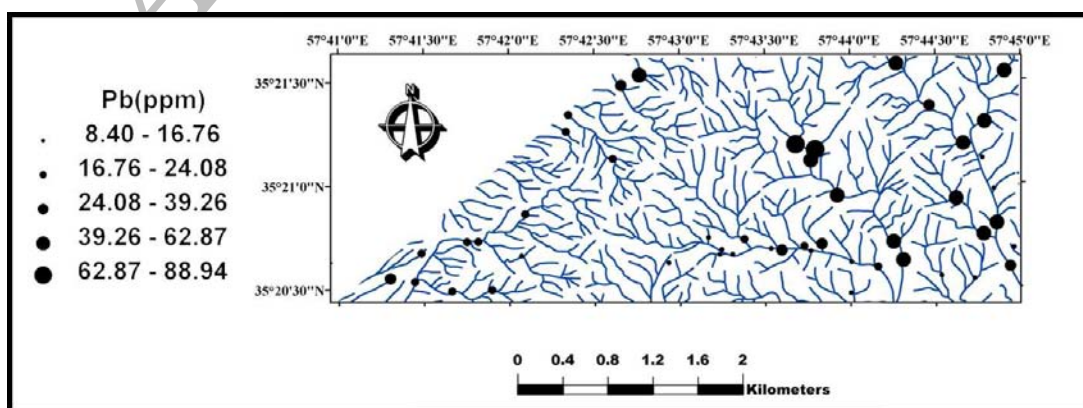
بدین ترتیب نتایج آنالیز ژئوشیمیایی رسوب‌های رودخانه‌ای حاکی از بی‌هنجاری عناصر طلا، نقره، مس، سرب و روی در هاله‌های ثانویه است به طوری که عناصر سرب و روی با نقره و به میزان کمتر با مس همبستگی نشان داده ولی عنصر طلا الگوی ژئوشیمیایی کمی متفاوت از عناصر دیگر را نشان می‌دهد (شکل ۲۷).

کوارتز مونزودیوریت پورفیری تشکیل می‌دهند. بیشترین میزان مس (۸۷/۲۸ppm) وابسته به آبراهه‌های واقع در شمال شرقی گستره بوده که بالادست این آبراهه، توده‌ی متا هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری است.

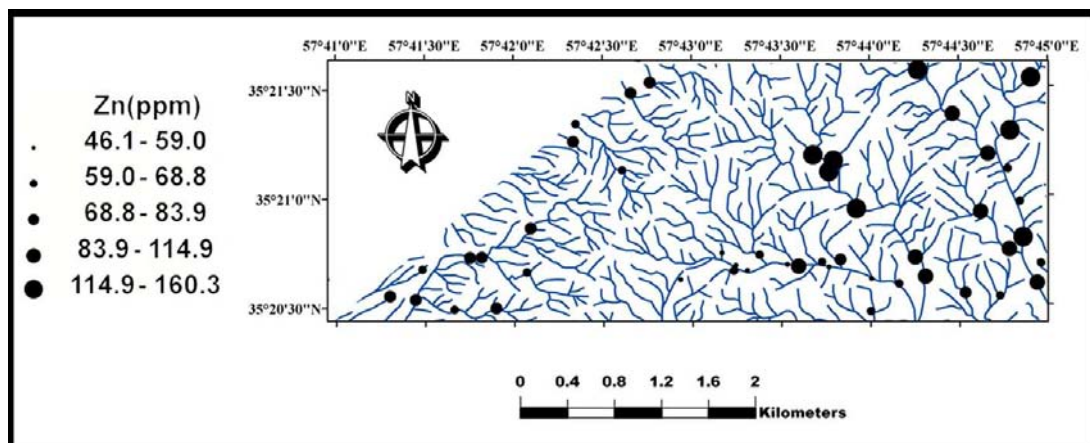
سرب (Pb) و روی (Zn): با توجه به (شکل‌های ۲۵ و ۲۶)، توزیع ژئوشیمیایی عناصر سرب و روی، نشان‌دهنده‌ی بیشترین میزان بی‌هنجاری در بخش‌های مرکزی و حاشیه‌ی شرقی گستره است. سنگ‌های بالادست این نقاط را توده‌های متا هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری، متا هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری، متا هورنبلند کوارتز مونزوسینیت پورفیری، متا کوارتز مونزونیت پورفیری و به مقدار کمتر بیوتیت-



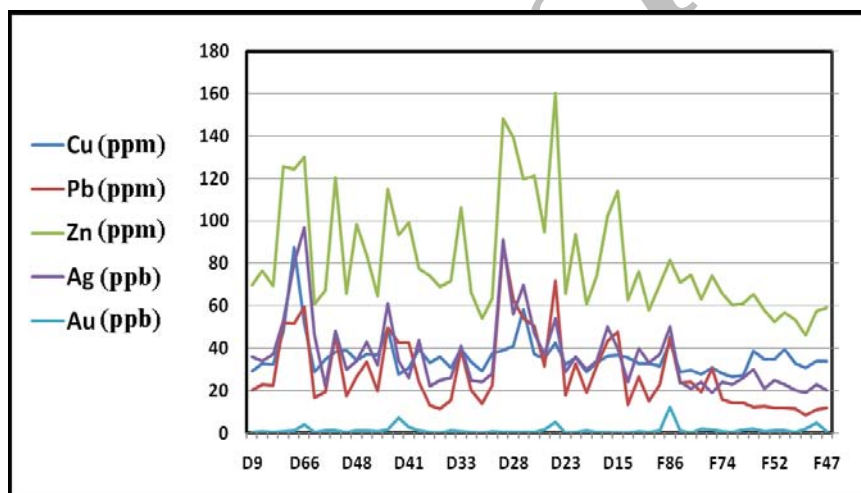
شکل ۲۴ نقشه‌ی ژئوشیمی آبراهه‌های عنصر مس بر حسب ppm در گستره‌ی پی‌جویی دهن قلعه.



شکل ۲۵ نقشه‌ی ژئوشیمی آبراهه‌های عنصر سرب بر حسب ppm در گستره‌ی پی‌جویی دهن قلعه.



شکل ۲۶ نقشه‌ی ژئوشیمی آبراهه‌ای عنصر روی بر حسب ppm در گستره‌ی پی‌جویی دهن قلعہ.



شکل ۲۷ نمودار تغییرات میزان عناصر (Au, Cu, Pb, Zn, Ag) در رسوب‌های رودخانه‌ای گستره‌ی پی‌جویی دهن قلعہ

برداشت

و متا هورنبلند کوارتز مونوزوسینیت پورفیری به سن نئوپروتروزوئیک-پالئوزوئیک فوقانی در آن‌ها نفوذ کرده‌اند. با پردازش داده‌های ماهواره‌ای و بررسی‌های سنگ‌شناسی، زون‌های کلریتی، اپیدوتی، هماتیتی، سرسیتی، سیلیسی-دگرسان و زیر مجموعه‌هایی از این زون‌ها در گستره‌ی پی-جویی شناسایی شدند.

نتایج آنالیز ژئوشیمیایی رسوب‌های رودخانه‌ای حاکی از بی‌هنجاری عناصر طلا، نقره، مس، سرب و روی در هاله‌های ثانویه بوده‌اند به طوری که بیشترین میزان طلا (۱۲/۳ ppb)، نقره (۹۷ ppb)، مس (۸۷/۲۸ ppm)، سرب (۸۸/۹۴ ppm) و

زمین‌شناسی گستره‌ی دهن قلعہ شامل مجموعه‌ای از سنگ-های دگرگونی ناحیه‌ای از جمله کلریت- سرسیت شیست، بیوتیت- سرسیت شیست و سرسیت شیست همراه با توده‌های آذرین بازی و حدواسط دگرگون شده در حد متا گابرو-دیوریت و متا دیوریت وابسته به سازند تکنار به سن پرکامبرین هستند که توده‌های گرانیتوئیدی نیمه عمیق با بافت پورفیری، کمی دگرگون شده شامل متا هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری، متا هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری، متا هورنبلند مونزودیوریت پورفیری، متا کوارتز مونزونیت پورفیری

- [۵] کریم پور م. ح.، "کانی سازی ماسیو سولفید تکنار، سن سنجی زیرکون *U-Pb* و ژئوشیمی رادیو ایزوتوپ های *Sr-Nd* گرانیتوئیدهای بورناورد"، هجدهمین همایش بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه تبریز، (۱۳۸۹)
- [۶] همام س. م.، "زمین شناسی و پترولوژی سازند تکنار-شمال غرب کاشمر استان خراسان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، (۱۳۷۱) ۱۲۶ص.
- [7] Miyashiro A., "Volcanic rock series in island arcs and active continental margins", American Journal of Science 274, (1974) 321-355.
- [8] Irvine T.N., Barager W.R.A., "A guide to chemical classification of the common volcanic rocks", Can. J. Sci., 8, (1971) 523-548
- [9] Shand S. J., "Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite", T.Murby, London, (1943) 488 p.
- [10] Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G., "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", Jour. of Petrology, 25, Part 4, (1984) 956-983
- [11] Ishihara S., "The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks", Mining geology, Japan, 27, (1977) 43-300.
- [12] Ishihara S., "The granitoid series and mineralization", ECONOMIC GEOLOGY, 75th Annive. V, Japan, 27, (1981) 458-484.
- [13] Taylor S. R., McLennan S. M., "The geochemical evolution of the continental crust", Rev. Geophys., 33, (1995) 241-265
- [14] Taylor S. R., McLennan S. M., "Planetary Crusts: Their Composition and Evolution", Cambridge University Press, Cambridge. (2009) 378 p.
- [15] Wedepohl K.H., "The composition of the continental crust", Geochim. Cosmochim. Acta 59, (1995) 1217-1232.

- روی (۱۶۰۳ppm) برآورد می شوند. به دلیل عدم حضور کانی سازی لایه ای، توده ای و داربستی در لیتولوژی های سازند تکنار در این گستره و با عنایت به دگرسانی های موجود، موقعیت آن در حاشیه ی سیستم کانی سازی ماسیو سولفید تکنار تعیین شد. سیستم کانی سازی توده های گرانیتوئیدی با توجه به شواهد زیر، "مس پورفیری نوع مونزونیتی" پیشنهاد می شود.
- ۱- جنس بیشتر توده های گرانیتوئیدی دهن قلعه (سنگ خاستگاه کانی سازی) از انواع مونزونیت پورفیری است.
- ۲- بر اساس بررسی های سنگ شناسی و پذیرفتاری مغناطیسی، خاستگاه این توده های آذرین، ماگمایی آهکی-قلیایی نمونه ای از گرانیت های I و وابسته به رژیم زمین ساختی زون فرورانش حاشیه ی قاره ای تعیین شد.
- ۳- زون های دگرسانی سرسیتی و خصوصاً پروپلیتیک به طور گسترده ای رخنمون دارند.
- ۴- نتایج آنالیز ژئوشیمیایی رسوب های رودخانه ای ریشه گرفته از توده های گرانیتوئیدی دهن قلعه حاکی از بی هنجاری عناصر مس، سرب، روی، طلا و نقره در هاله های ثانویه اند.

مراجع

- [1] Lindenberg H.G., Jacobshagen V., "Post-Paleozoic geology of the Taknar zone and adjacent area, Khorasan, (NE-Iran)", GSI. Rep. No.51 (1983) 145-143
- [۲] سازمان زمین شناسی کشور، "گزارش شماره ۷۵۶۰ اکتشافات ژئوشیمی ناحیه ای گرمسار تا تربت حیدریه"، (۱۹۹۶)
- [۳] کریم پور م. ح.، سعادت س.، "مطالعه و بررسی پتانسیل های معدنی و تعیین اولویت های اکتشافی با استفاده از داده های ماهواره ای، آلتراسیون، ژئوشیمی و ژئوفیزیک در محدوده ورقه بردسکن"، مرکز تحقیقات ذخایر معدنی شرق ایران، (۱۳۸۴)
- [4] Streckeisen A., "Classification and nomenclature of plutonic rocks", Geol. Rdsch. 63, (1974) 773-786